



## Research Paper

## Numerical Simulation of the Effect of Weir Magnification on Hydraulic and Hydrodynamic Characteristics in Diversion Dams

Davoud Davoud Maghami<sup>1\*</sup>, Amir Moradinejad<sup>2</sup> and Shahla Paimozd<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Assist. Professor, Laboratory Expert of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Arak University, Arak, Arak, Iran

<sup>2</sup>Assist. Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Arak, Iran

<sup>3</sup>Assist. Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Arak University, Arak, Iran

### Article information

**Received:** April 10, 2021

**Revised:** September 26, 2021

**Accepted:** September 28, 2021

### Keywords:

Duck Tip Overflow

Flow Control

Hydraulic

Relative Head

Water Permeability

\*Corresponding author:

[d-davoudmaghami@araku.ac.ir](mailto:d-davoudmaghami@araku.ac.ir)



### Abstract

Since the geometry of duck tip overflows will complicate the problem for theoretical and practical purposes, it is crucial to study the magnification and hydraulic change of flow on these overflows. In this study, the effect of these changes on the hydraulic and hydrodynamic properties of the flow was investigated by numerical simulation using FLOW3D software by changing the overflow shape from linear to duck tip with magnifications 2 and 3. Dimensional analysis extracted dimensionless ratios and the relationship between variables in the experiments was determined. The results of comparing the numerical model with the laboratory model showed that the maximum error obtained from numerical simulation for the overflow coefficient of overflows is 12%. The permeability coefficient in the linear overflow with magnification 1 first had an increasing trend and then a decreasing trend. From a relative head greater than 0.6, the permeability coefficient was proved to be 0.7 for experimental data and 0.75 for simulation data. In the overflow, with a magnification of 2 to a relative head of 0.4, there was an increasing trend and from a relative head greater than 0.4, there was a decreasing trend. In the overflow with magnification 3, the permeability coefficient always decreases with increasing the relative head.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



### Introduction

Gates are one of the most important flow control structures that are used to regulate and distribute flow in irrigation canals. One of the most widely used types of Gates is the sluice gate. One of the solutions to increase the discharge of the sluice gate is to use a sill under the gate. So that by studying the sills more, methods can be adopted

to increase the discharge coefficient of sluice gates. In recent years, the effect of sills with different geometric shapes has been studied by researchers to select the appropriate sill to increase the discharge coefficient of sluice gates. Investigation of the dimensions of the sill is one of the issues affecting the flow discharge coefficient. In this study, the sill dimensions



including height and sill width were investigated and simulated.

### Materials and Methods

In the present study, the simulations were performed using FLOW-3D software edition 11 version 2. The results of numerical data are validated with the experimental results of Alhamid (1999), and the conditions without sill were used. The experiments were performed on a 9.45 m long and 30.5cm wide flume. A symmetry (S) boundary condition was used for the upper boundary, specific discharge (Q) was used for the input flow, and outlet (O) conditions for flow for the downstream boundary. Wall (W) boundary conditions were used for the bed and sidewalls. To compare numerical and experimental values, the statistical indices of absolute error percentage (AE) and relative error percentage (RE) were used. To reduce the error in selecting the appropriate mesh, the cell size was gradually reduced. The results showed that the error rate of 0.06 cm was acceptable. To ensure the results, a cell size of 0.05 cm was also evaluated. In this case, the error value was calculated close to the previous case. To find the best turbulence model, calculations were performed using three turbulences models RNG,  $\omega$ -k, and k- $\epsilon$ , then the results of turbulence models were compared with experimental results. RNG model, due to low the values of relative error percentage and absolute error percentage were selected to continue the simulations, To calibrate the numerical model, flow discharge coefficient at five different discharges were used. Finally, results were compared with experimental data. A total of 85 models were designed in 3 models for

simulations. Thus, in the first case, by keeping the constant value for the sill height, the effect of gate opening of 2 to 5 cm on the discharge coefficient was studied. In the next case, with the constant value for gate opening, the sill was installed at four heights of 1, 2, 3, and 4 cm below the gate, and in the third case, the discharge coefficient with the sill was examined in the widths of 15.5, 20.5, 25.5 and 30.5 cm evaluated. The discharge range varied from 0.028 to 0.012 m<sup>3</sup>/s. Each experiment involves measuring the water depth upstream of the gate and calculating the discharge coefficient of the sluice gate through Eq. (1).

$$C_d = \frac{Q}{GB \sqrt{2gH}} \quad (1)$$

### Results

The results of the numerical solution of the present study were compared with the experimental results of Alhamid (1999). The value of the root of the mean square error (RMSE) and correlation coefficient (R<sup>2</sup>) were estimated to be 0.03 and 0.98, respectively. The results of gate opening changes showed that the reduction of opening in two states without a sill and with a sill affects the discharge coefficient. In other words, the discharge coefficient increases with decreasing opening. Finally, the maximum discharge coefficient is for the minimum opening, and with an increasing opening from 2 cm to 5 cm, the discharge coefficient decreases. The results showed that at the highest opening (G = 5 cm), the discharge coefficient with a sill of 1.35% and the lowest opening (G = 2 cm), 9% compared to the without sill state.

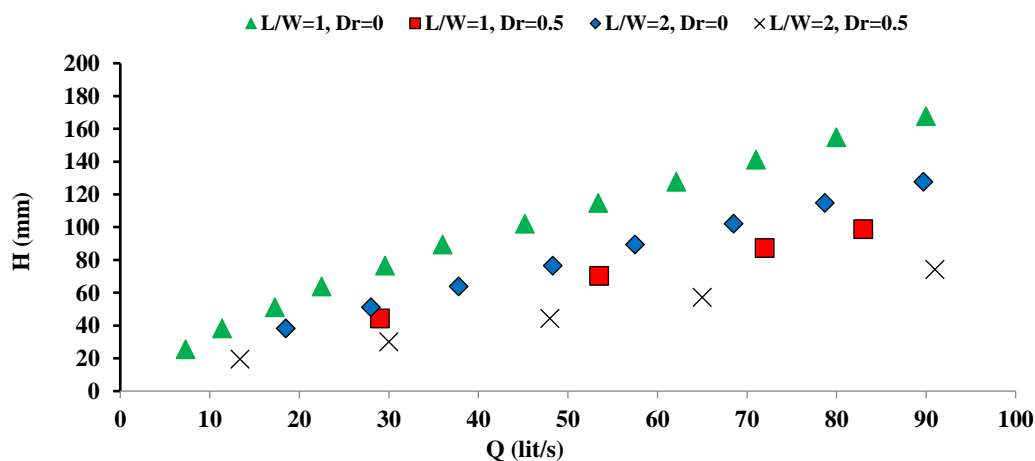


Fig. 1 Changes in water level Vs. changes in discharge

The effect of sill height on the discharge coefficient showed that the presence of sill at all heights increases the discharge coefficient of the gate. Because the sill with the lowest height has also increased the discharge coefficient compared to the without sill state. Sill placement at different widths showed that reducing the sill width reduces the flow velocity adjacent to the flume walls. So that the minimum velocity is related to the sill with the lowest width and with increasing the sill width, the values of longitudinal velocity adjacent to the sill increase. Investigation of the discharge coefficient at the sill with the smallest width showed that this sill has the minimum value of the discharge coefficient between the sills. Because with increasing width, the cross-section of the flow under the gate decreases and as a result increases the coefficient of flow. The changes in water level were almost proportional to the changes in discharge rate (Fig.1).

### Conclusion

The most important results of the present study can be expressed as follows:

1. Decrease in the rate of the gate opening, in the without sill state, caused an increase in the discharge coefficient of the sluice gate. By

placing the sill under the gate, the discharge coefficient also increased with decreasing gate opening.

2. The results of sill height changes showed that the presence of the sill even with the minimum height affects the performance of the sluice gate, which means that it increases the discharge coefficient. The minimum and a maximum increase of discharge coefficient at the sill with the height of 1 and 4 cm were calculated at 1 and 18% compared with the without sill state, respectively.

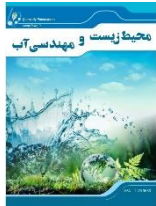
3. Examination of sill discharge coefficient with changes in sill width showed that the discharge coefficient at the suppressed sill has increased by 20% compared to the without sill state. Because the sill with a larger width reduces the cross-sectional area of the flow and thus increases the discharge coefficient.

### Data Availability

The data can be sent on request by the corresponding author via email.

### Conflict of Interests

The authors of this paper declare no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: [www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

مقاله پژوهشی

## شبیه‌سازی عددی تاثیر بزرگ‌نمایی سرریز بر روی مشخصات هیدرولیکی و هیدرودینامیکی آبنگیزی از بندهای انحراف

داود داودمقامی<sup>۱\*</sup>، امیر مرادی‌نژاد<sup>۲</sup> و شهلا پایمزد<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استادیار، کارشناس آزمایشگاه، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک، اراک، ایران  
<sup>۲</sup>استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، اراک، ایران  
<sup>۳</sup>استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک، اراک، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۱/۲۱]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۷/۰۴]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۷/۰۶]

### واژه‌های کلیدی:

سرریز نوک اردکی

ضریب آبنگیزی

کنترل جریان

هیدرولیک

هد نسبی

### \*نویسنده مسئول:

[d-davoudmaghami@araku.ac.ir](mailto:d-davoudmaghami@araku.ac.ir)


از آنجاکه هندسه سرریزهای نوک اردکی پیچیدگی مسئله را برای مباحث تئوری و عملی به دنبال خواهد داشت، لذا بررسی تغییر بزرگ‌نمایی و هیدرولیک جریان بر روی این سرریزها حائز اهمیت است. در این پژوهش با تغییر در شکل سرریز از خطی به نوک اردکی با بزرگ‌نمایی ۲ و ۳، تأثیر این تغییرات بر روی خصوصیات هیدرولیکی و هیدرودینامیکی جریان به وسیله شبیه‌سازی عددی با استفاده از نرم‌افزار FLOW3D مورد بررسی قرار گرفت. با انجام آنالیز ابعادی، نسبت‌های بدون بعد استخراج و رابطه بین متغیرها در آزمایش‌ها مشخص شد. نتایج مقایسه مدل عددی با مدل آزمایشگاهی نشان داد حداکثر خطای حاصله از شبیه‌سازی عددی برای ضریب آبنگیزی سرریزها ۱۲٪ می‌باشد. ضریب آبنگیزی در سرریز خطی با بزرگ‌نمایی ۱ ابتدا روند افزایشی سپس روند کاهشی داشت. از هد نسبی بزرگ‌تر از ۰/۶ ضریب آبنگیزی ثابت شده که برای داده‌های آزمایشگاهی برابر ۰/۷ و برای داده‌های شبیه‌سازی برابر ۰/۷۵ بود. در سرریز با بزرگ‌نمایی ۲ تا هد نسبی ۰/۴ روند افزایشی و از هد نسبی بزرگ‌تر از ۰/۴ روند کاهشی داشت. در سرریز با بزرگ‌نمایی ۳ با افزایش هد نسبی ضریب آبنگیزی همواره کاهش می‌یابد.

### ۱- مقدمه

دارند. به این ترتیب می‌توانند دبی بیش‌تری در مقایسه با سرریزهای معمولی برای کانال با عرض و ارتفاع آب مشابه را از خود عبور دهند. در یک عرض مشخص سرریزهای نوک اردکی و مایل، طول مؤثر بیش‌تری در مقایسه با سرریزهای معمول دارند. که این مسئله می‌تواند بر ضریب دبی و راندمان این نوع سرریزها تأثیرگذار باشد.

سرریزها از جمله سازه‌های هیدرولیکی مهم برای کنترل جریان، تنظیم سطح آب بالادست و اندازه‌گیری دبی در کانال‌ها، شبکه‌های آبیاری و رودخانه‌ها می‌باشند. یکی از سرریزهای پرکاربرد در شبکه‌های انتقال آب، سرریز نوک-اردکی می‌باشد. این نوع از سرریزها طراحی ساده‌ای دارند و طول مؤثر بیش‌تری نسبت به سرریزهای لبه‌تیز معمولی



هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای مستطیلی لبه‌تیز را مطالعه نمودند و علاوه بر معرفی یک رابطه برای ضریب دبی عملکرد هیدرولیکی را برای طیف وسیعی از پارامترهای هیدرولیکی تحلیل کردند. Ajdari (2013) Moghadam and Jafari Nadoshan با استفاده از هیدرودینامیک محاسباتی به طراحی سرریزهای کنگره‌ای پرداختند و نتیجه گرفتند که با افزایش زاویه دیواره سرریز در امتداد جریان ضریب آبگذری افزایش می‌یابد که این روند افزایشی، با افزایش زاویه، کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش طول دماغه به‌علت کاهش تداخل لایه‌های جریان، ضریب آبگذری افزایش پیدا کرده است. Gupta et al. (2015) در مطالعه‌ای اظهار داشتند که تنها پارامترهای مؤثر در روابط ضریب دبی سرریز لبه‌تیز مستطیلی در پلان نسبت‌های H/P و L/B می‌باشد و راندمان سرریز مستطیلی در پلان هنگامی افزایش می‌یابد که ارتفاع سرریز کاهش یابد. Zahiri (2015) رابطه Kumar et al. (2012) را با کمک روش برنامه‌ریزی ژنتیک موردبازنگری و اصلاح قرار داد.

Montaseri and Asiaei (2016) تأثیر موقعیت و زاویه آبگیری بر الگوی جریان در کانال قوسی با استفاده از نرم‌افزار SSIM را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که در همه موقعیت‌ها، زاویه آبگیری  $90^\circ$  دارای بیش‌ترین ابعاد نواحی جداشدگی، بیش‌ترین عرض صفحه تقسیم جریان در تراز بستر و کم‌ترین عرض صفحه تقسیم جریان در تراز نزدیک سطح را دارد و در عوض زاویه آبگیری  $30^\circ$  دارای کم‌ترین ابعاد نواحی جداشدگی جریان و کوچک‌ترین عرض صفحه تقسیم جریان در تراز بستر و بیش‌ترین عرض صفحه تقسیم جریان در تراز سطح را دارد.

Rezaie et al. (2016) نشان دادند که برای سرریزهای کنگره‌ای مستطیلی بهترین محدوده H/P بین  $0/2$  تا  $0/4$  می‌باشد چراکه حداکثر ضریب آبگذری در این محدوده قرار دارد. Carollo et al. (2017) یک رابطه هد-دبی بی‌بعد برای سرریزهای کنگره‌ای مثلثی با تغییر در جهت جریان رئوس مثلث‌ها کار کردند در این رابطه نسبت‌های H/W برای شکل تاج لبه‌تیز و لبه پهن مقایسه شده و نمودارهایی برای این متغیرها ارائه شده است. Zamiri et al. (2018) با استفاده از مطالعه عددی عوامل مؤثر بر عملکرد هیدرولیکی

ضریب دبی جریان تابعی از مشخصات هندسی و هیدرولیکی سرریز می‌باشد. از کنار هم قرارگیری دو یا چند سرریز نوک-اردکی یک سرریز چندوجهی ایجاد می‌شود. نخستین بررسی روی سرریزهای کنگره‌ای به‌وسیله Taylor (1968) انجام شد. Houston (1983) مدل‌های مطالعاتی برای سرریزهای کنگره‌ای مورد استفاده در سد هیرم در یوتا پیشنهاد کرد. این مطالعات شامل ارزیابی تعداد زیادی سرریز کنگره‌ای از نظر هندسه، شکل و شرایط نزدیکی است. Ghodsian (2007) مطالعات آزمایشگاهی بر روی سرریز کنگره‌ای مثلثی با شکل تاج‌های متفاوت انجام داد. در مطالعات قدسیان ضریب دبی تابعی از نسبت هد روی سرریز به ارتفاع سرریز، نسبت طول سرریز به پهنای سرریز و شکل تاج به‌دست‌آمد.

Esmaeili Varaki et al. (2011) مطالعاتی را در خصوص آبگیری با حضور بند انحرافی با سرریز خطی انجام دادند و نشان دادند باز شدن دریچه تخلیه رسوب، باعث پیشروی پیشانی جبهه رسوب در کانال اصلی می‌شود و تقریباً نیمه بالادستی عرض دهانه آبگیر را در بر می‌گیرد و با افزایش آبگیری، میزان رسوب ورودی به آبگیر افزایش می‌یابد. همچنین باز شدن دریچه مجرای رسوب باعث از بین رفتن ناحیه برگشتی در نیم‌رخ‌های سرعت می‌شود. در شرایطی که مجرای تخلیه رسوب باز باشد، محدوده شکل‌گیری گردابه‌ها به ناحیه پرسرعت جریان ورودی به دهانه آبگیر نزدیک می‌شود و نتیجتاً زمان رخداد آن، در مقایسه با حالت بسته بودن دریچه، افزایش قابل‌توجهی پیدا می‌کند. نتایج ایشان نشان داد که با افزایش دبی نسبی دریچه مجرای تخلیه رسوب به میزان  $1/18\%$ ، میزان رسوب ورودی به دهانه آبگیر به‌طور متوسط  $4/65\%$  نسبت به شرایط یکسان آبگیر و بسته بودن دریچه مجرای تخلیه رسوب افزایش می‌یابد.

Kumar et al. (2012) در مطالعه‌ای سرریز لبه‌تیز در پلان قوسی را مورد بررسی قرار دادند و رابطه‌ای براساس بلندای جریان و زاویه گردش‌دهی استخراج کردند. Crookstone and Tullis (2012) یک روش برای طراحی هیدرولیکی و آنالیز سرریزهای کنگره‌ای بر پایه‌ی نتایج آزمایشگاهی به‌صورت مدل‌سازی فیزیکی ارائه کردند نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که افزایش راندمان دبی به‌وسیله یک تاج نیم‌دایره‌ای شکل قابل‌ملاحظه‌تر برای  $Ht/P \leq 0.4$  است. Mirnaseri and Emadi (2013) عملکرد

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- کانال آزمایشگاهی و داده‌های مورد استفاده

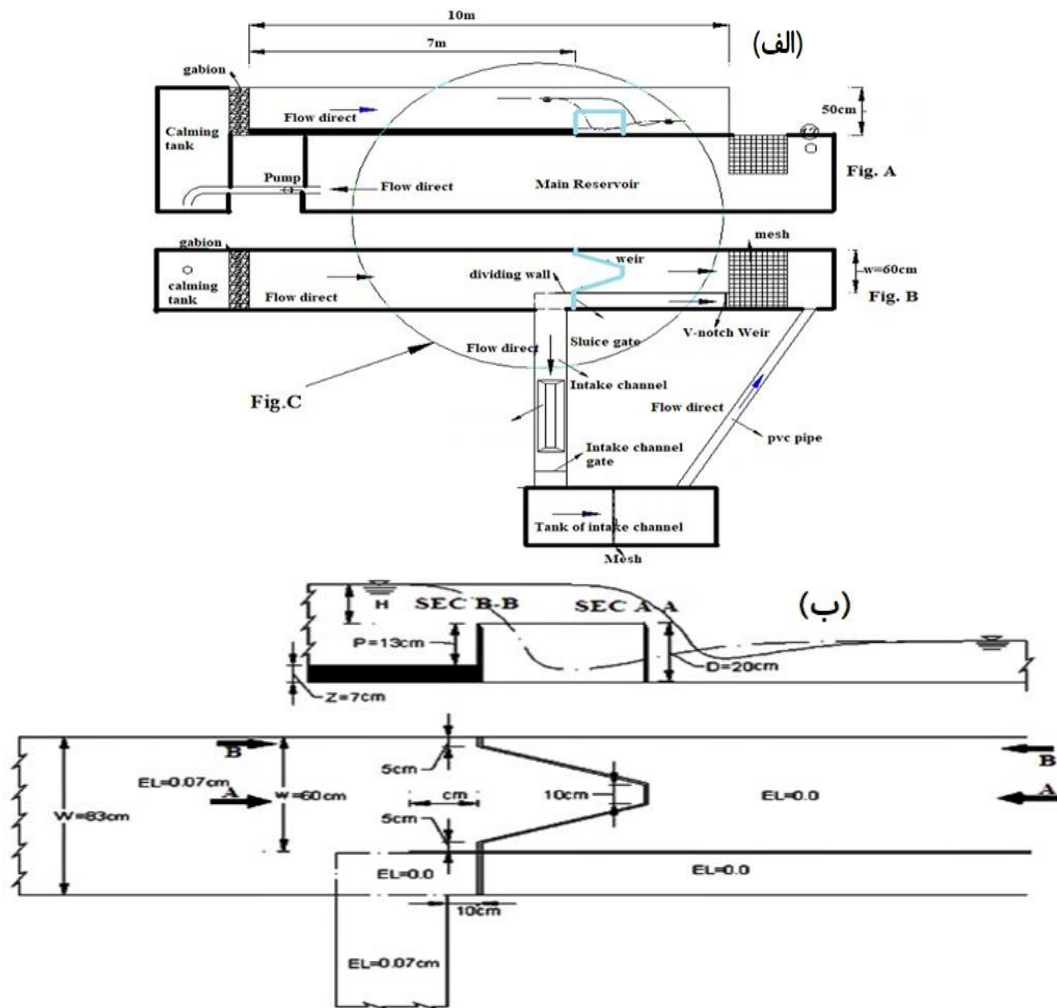
جهت انجام شبیه‌سازی از نتایج آزمایشگاهی Davoud Maghami (2017) استفاده شد. سازه‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل کانال اصلی، بند انحرافی با سرریز خطی با بزرگ‌نمایی ۱ و سرریزهای با بزرگ‌نمایی ۲ و ۳ به همراه کانال آبگیر و همچنین مجرای تخلیه رسوب است که در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه بوعلی‌سینا همدان انجام شد. کانال اصلی دارای ابعاد ۱۰ m طول، ۰/۸۳ m عرض و ۰/۵ m ارتفاع مورد استفاده قرار گرفت. شکل (۱) نیز جانمایی اجزا آزمایش را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

شکل (۲) پلان بند انحرافی با سرریز کنگره‌ای، مجرای تخلیه رسوب، دیواره جداکننده و کانال آبگیر را نشان می‌دهد. در طراحی کانال آبگیر حداقل طول برای کانال آبگیر جهت صرف نظر کردن اثرات پایین دست ۱۰-۶ برابر عرض کانال انشعاب توصیه شده است. بنابراین طول و عرض کانال آبگیر به ترتیب ۲/۵ و ۰/۳۵ m انتخاب شد. برای طراحی عرض مجرای تخلیه رسوب معیار دو سوم عرض دهانه آبگیر در نظر گرفته شد (Razvan 1989). بنابراین عرض دهانه آبگیر مقدار ۰/۲۲ m طراحی گردید. طول دیواره جداکننده با توجه به معیار ارائه شده توسط Razvan (1989) دوسوم عرض دهانه آبگیر ۰/۲۲ m در نظر گرفته شد. ارتفاع آستانه با توجه به معیار ارائه شده برابر ۰/۰۷ m در نظر گرفته شد. با توجه به عرض مجرای تخلیه، طول سرریز بند انحرافی در حالت خطی ۰/۶ m تعیین شد. ارتفاع بند انحرافی نیز ۰/۲۰ m در نظر گرفته شد. سامانه اندازه‌گیری جریان شامل اندازه‌گیری دبی جریان اصلی و دبی کانال آبگیر بود. دبی اصلی جریان توسط دبی‌سنج التراسونیک که به لوله رانش پمپ متصل بوده اندازه‌گیری گردید. برای مشخص نمودن دبی کانال آبگیری نیز از کالیبراسیون دبی-اشل مخزن انتهایی کانال آبگیر با کمک پیژومتر نصب شده استفاده شد. جهت اندازه‌گیری عمق جریان نیز از دستگاه ژرف‌سنج با دقت ۰/۱ mm استفاده شد. عمق جریان در فاصله ۱ m بالادست محور سرریز جهت به دست آوردن ضخامت تیغه جریان روی سرریز اندازه‌گیری شد. نسبت‌های دبی آبگیری نیز صفر، ۲۰، ۴۰ و ۵۰٪ بود.

جریان عبوری از سرریز کنگره‌ای را مورد بررسی قرار دادند، در مطالعه آن‌ها بیان شد که افزایش ضخامت دیواره سرریز کنگره‌ای، سبب افزایش عمق و سرعت جریان عبوری از سرریز شده و به تبع آن از مقدار ضریب دبی کاسته شده است. (Majedi Asl and Fuladipannah 2019) کاربرد سیستم‌های تکاملی در تعیین ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای مثالی را مورد بررسی قرار دادند و نتایج آن‌ها نشان داد که در ماشین بردار پشتیبان، ترکیب ورودی که فقط شامل پارامترهای هندسی ( $\theta, H/W, L/B$ ) است، دارای بهترین نتایج در مرحله آزمون داده‌ها است.

(Tajari 2019) در مطالعه‌ای به شبیه‌سازی الگوی رسوب‌گذاری در بالادست سرریز نوکاردکی با به کارگیری صفحات مستغرق پرداخت. نتایج نشان داد که به کارگیری صفحات مستغرق برای تخلیه رسوبات به خصوص در نسبت‌های هد آب به ارتفاع سرریز بیش‌تر از ۳۳٪ بسیار مؤثر است. نتایج پردازش تصویر نشان داد که حداکثر خطای نسبی در شبیه‌سازی الگوی رسوب‌گذاری ۱۴/۴٪ است. (Mansouri et al. 2019)

نتیجه گرفتند که با افزایش H/P از ۰/۴ تا ۰/۸ مقدار متوسط راندمان افزایش اکسیژن محلول در سرریزهای کنگره‌ای به طور متوسط ۱۳٪ افزایش می‌یابد. (Roushangar 2017) نشان دادند که سرریزهای کنگره‌ای قوسی (اصلاح شده) کارایی بیشتری نسبت به سرریزهای کنگره‌ای خطی (اصلاح نشده) دارند اما با افزایش H/P مقدار ضریب دبی در این سرریزها به هم نزدیک می‌شوند. در پژوهش حاضر بررسی تأثیر بزرگ‌نمایی سرریز (نسبت طول سرریز به عرض رودخانه‌ای که سرریز در آن قرار دارد) مشخصاً سرریزهای کنگره‌ای بر روی مشخصات هیدرولیکی و هیدرودینامیکی جریان در بندهای انحرافی به وسیله نرم‌افزار Flow3D انجام شد. نتایج مدل عددی با مدل آزمایشگاهی مقایسه و تأثیر بزرگ‌نمایی روی ضریب دبی بررسی شد.



شکل ۱- جانمایی کانال آبگیر و بند انحرافی: الف- کانال آبگیر (مقطع طولی و پلان)، ب- بند انحرافی و جزئیات رقوم مربوطه  
 Fig. 1 Location of intake canal and diversion dam: a) intake canal (longitudinal section and plan), and b) diversion dam and details of the relevant figure



شکل ۲- پلان بند انحرافی با سرریز کنگره‌ای، مجرای تخلیه رسوب، دیواره جداکننده و کانال آبگیر  
 Fig. 2 Diversion plan with congressional overflow, sediment discharge channel, separating wall, and intake channel

و با اجرای یک سری محاسبه، روابط بدون بعد ایجاد شد. پارامترهای زیادی در جریان عبوری از سرریز و ورودی به آبگیر مؤثر می‌باشند. پارامترهای مؤثر بر جریان عبوری از

۲-۲- آنالیز ابعادی  
 با استفاده از روش آنالیز ابعادی از روش باکینگهام با توجه به پارامترهای مؤثر در پدیده، یک سری گروه بدون بعد تشکیل

سرریز در بندهای انحرافی را می‌توان به صورت رابطه (۱) ارائه نمود.

$$Q_{spill} = f(Q, Q_{in}, Q_{sl}, W, w, L, A, R, T, y, H, P, D, H_d, a, b_{sl}, b_{in}, L_d, h_s, h_{in}, X_{stuiice}, \theta, \mu, \rho, g, \sigma) \quad (1)$$

### ۲-۳- شبیه‌سازی عددی

FLOW3D یک نرم‌افزار قدرتمند در زمینه هیدرودینامیک محاسباتی است. یکی از قابلیت‌های عمده این برنامه برای آنالیز هیدرولیکی، توانایی مدل کردن جریان‌های با سطح آزاد با روش حجم مایع<sup>۱</sup> است. این روش توسط Hirt and Nichols (1981) گزارش شده است. در نرم‌افزار FLOW3D، ناحیه محاسباتی به وسیله دستگاه مختصات کارتزین و یا قطبی به شبکه‌ای از المان‌های حجمی تقسیم شده است. در مدل‌سازی جریان با سطح آزاد از روی سرریز، سرریز به عنوان مانعی با استفاده از روش نمایش کسری از مساحت یا حجم مانع<sup>۲</sup> و سطح آزاد آن با استفاده از روش اصلاح‌شده VOF محاسبه می‌شود. مدل دو معادله‌ای  $k - \epsilon$  حالت اصلاح‌شده<sup>۳</sup> از روابط نظیر روابط موجود در مدل  $k - \epsilon$  استفاده می‌کند. با این تفاوت که ضرایب ثابت موجود در مدل  $k - \epsilon$  که به روش تجربی استخراج می‌شدند، در مدل RNG به صورت صریح محاسبه می‌شوند (Ghasemzadeh (2013). از تأثیر کشش سطحی نیز در معادلات حاکم مورد استفاده صرف نظر شده است. جهت مدل‌سازی از یک سیستم با مشخصاتی شامل پردازش‌گر مرکزی COREI7 با قدرت 3.1 GH، حافظه 8 GB و پردازنده گرافیکی 2GB استفاده شد. حساسیت‌سنجی شبکه محاسباتی (استقلال حل از شبکه مش) نیز انجام شد. در نواحی با شیب بالا باید از المان‌های کوچک‌تری استفاده کرد (Flow Science Incorporated 2015). بنابراین در محل سرریز و دریاچه آبگیر از المان‌های کوچک‌تری استفاده شد. برای انجام شبیه‌سازی پنج مش بلوک در نظر گرفته شد. مبنای مختصات طولی، عرضی و ارتفاعی نیز به ترتیب محورهای سرریز، دیواره جداکننده و بستر رودخانه در پایین دست انتخاب شد. دامنه محورهای طولی، عرضی و ارتفاعی به صورت  $0 \leq Z \leq 0.5$  و  $-2.73 \leq Y \leq 0.6$ ،  $X \leq 1$  شد. به دو دلیل این محدوده انتخاب شد، اول اینکه خارج از این محدوده بر روی هیدرولیک جریان از روی سرریز و همچنین هیدرولیک جریان در آبگیر تأثیر نداشت و دلیل دوم هم این بود تا تمام سازه‌ها اعم از کانال اصلی، کانال

که،  $Q_{spill}$  دبی جریان عبوری از سرریز،  $Q$  دبی رودخانه،  $Q_{in}$  دبی آبگیر،  $Q_{sl}$  دبی مجرای تخلیه رسوب،  $W$  عرض رودخانه،  $w$  مقطع طولی عمود بر جهت جریان عبوری از روی سرریز،  $L$  طول دیواره جداکننده،  $A$  طول دماغه،  $R$  شکل سرریز،  $T$  ضخامت سرریز،  $y$  عمق جریان،  $H$  و  $H_d$  به ترتیب ارتفاع هیدرواستاتیک بالادست و پایین دست سرریز (اندازه‌گیری  $H$  در فاصله ۱ m بالادست تاج سرریز)،  $D$  و  $P$  به ترتیب ارتفاع سرریز در بالادست و پایین دست،  $a$  شرایط هوادهی،  $b_{sl}$  عرض مجرای تخلیه رسوب،  $b_{in}$  عرض دهانه آبگیر،  $L_d$  طول دیواره جداکننده،  $h_s$  ارتفاع آستانه کانال آبگیر،  $h_{in}$  ارتفاع بازشدگی دریاچه آبگیر،  $X_{stuiice}$  موقعیت مجرای تخلیه رسوب از انتهای دهانه آبگیر و  $\theta$  زاویه آبگیری،  $\mu$  ویسکوزیته یا گرانیوی،  $\rho$  چگالی آب،  $g$  شتاب ثقل و  $\sigma$  کشش سطحی می‌باشد.

با توجه به ثابت بودن بسیاری از پارامترهای فوق، یکسان بودن شرایط هوادهی، عدم تأثیر کشش سطحی به لحاظ در نظر گرفتن حداقل هد روی سرریز، بسته بودن مجرای تخلیه رسوب در تمام آزمایش‌ها و همچنین عدم جریان ورقه‌ای رابطه نهایی به صورت رابطه (۲) استخراج شد.

$$\frac{Q_{spill}}{\sqrt{gLH^{1.5}}} = f\left(\frac{L}{W}, \frac{H}{P}, D_r\right) \quad (2)$$

در رابطه (۲) می‌توان به جای تابع  $\frac{Q_{spill}}{\sqrt{gLH^{1.5}}}$  از  $C_d$  استفاده کرده و رابطه نهایی را به صورت رابطه (۳) مطرح نمود.

$$C_d = f\left(\frac{L}{W}, \frac{H}{P}, D_r\right) \quad (3)$$

که،  $D_r = \frac{Q_{in}}{Q}$  معرف دبی آبگیری است. با توجه به رابطه (۳) ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Flow3D شبیه‌سازی عددی صورت پذیرفت و مقادیر ضریب آبگذری استخراج شدند سپس این مقادیر با مقادیر ضریب آبگذری حاصل از نتایج آزمایشگاهی مقایسه و مورد تأیید قرار گرفتند. در نهایت بر این اساس و با کمک نرم‌افزار مذکور تحلیل‌های هیدرولیکی و هیدرودینامیکی انجام شد.

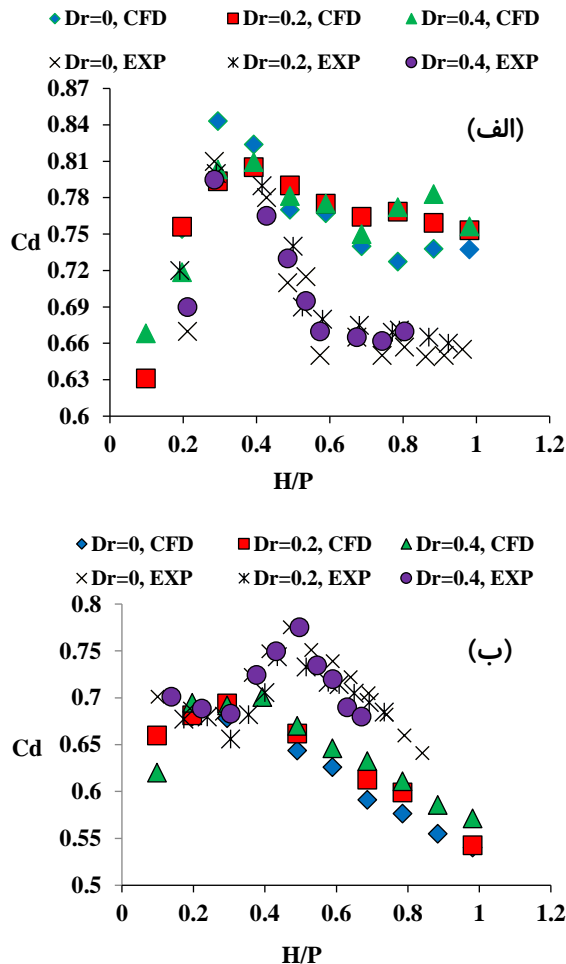
<sup>1</sup>VOF

<sup>2</sup>FAVOR

<sup>3</sup>RNG



این مقدار ثابت برای داده‌های آزمایشگاهی برابر ۰/۶۶ و برای داده‌های شبیه‌سازی عددی انجام شده ۰/۷۵ بود. حداکثر اختلاف بین مقادیر آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی نیز ۱۲٪ می‌باشد.



شکل ۴- ضریب آبگذری جریان عبوری از روی سرریز لبه تیز خطی در مقادیر مختلف هد نسبی جریان تحت تأثیر دبی نسبی آبگیری با بزرگ‌نمایی: الف- ۱ و ب- ۲

Fig. 4 The discharge coefficient of the sharp crested weir in different values of the head to height ratio of the flow under the effect of the intake discharge ratio with magnification of a) 1 and b) 2

در شکل (۴-ب) نیز همانند شکل (۴-الف) روند حاصل از هر دو روش داده‌های آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی یکسان می‌باشد. به طوریکه در روش استفاده از داده‌های آزمایشگاهی مقادیر ضریب آبگذری از مقدار  $H/P=0/45$  به بعد و در روش شبیه‌سازی عددی مقادیر ضریب آبگذری از مقدار  $H/P=0/45$  به بعد کاهش می‌یابند. حداکثر اختلاف بین مقادیر آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی نیز ۱۲٪ می‌باشد. با مقایسه شکل‌های (۴-الف) و (۴-ب) چنین نتیجه-

آبگیر، سرریز و دریچه آبگیر را شامل شود. البته در تمام محدوده انتخابی مش بندی صورت نگرفت و تنها مناطقی از پلان انتخاب شد که در آن جریان برقرار بود بدین صورت که مش بلوک اول از فاصله ۲ m از بالادست سرریز تا محور بالادست آبگیر، مش بلوک دوم از محور بالادست آبگیر تا محور پایین دست آبگیر، مش بلوک سوم از محور پایین دست آبگیر تا محور تاج سرریز و مش بلوک پنجم نیز از محور تاج سرریز تا فاصله یک متری آن در پایین دست می‌باشد. مش بلوک چهارم نیز شامل کانال آبگیر به همراه دریچه آبگیر می‌باشد. شرایط مرزی شامل مقطع ورودی، مقطع خروجی، دیواره‌ها، سطح آزاد جریان و مرز مش بلوک‌ها است. در ورودی جریان (بالادست) از شرایط مرزی عمق جریان<sup>۱</sup>، در مقاطع خروجی (دو جریان خروجی شامل جریان‌های خروجی از روی سرریز و از زیر دریچه آبگیر) از شرایط مرزی جریان خروجی<sup>۲</sup>، در دیواره‌ها و کف از شرایط مرزی دیواره<sup>۳</sup> و در سطح آب از شرایط مرزی تقارن<sup>۴</sup> استفاده شده است. در محل اتصال مش بلوک‌ها نیز از شرایط مرزی تقارن استفاده شده است. معادلات کلی حاکم بر مسئله، معادلات متوسط‌گیری شده رینولدز ناویراستوکس<sup>۵</sup> و پیوستگی برای جریان‌های تراکم ناپذیر می‌باشند. جهت مدل کردن آشفتگی نیز از RNG استفاده شد.

### ۳- یافته‌ها و بحث

#### ۳-۱- مقایسه ضرایب دبی

جهت مقایسه نتایج داده‌های آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی، ضرایب دبی حاصل به ترتیب برای سرریزهای با بزرگ‌نمایی‌های ۱، ۲ و ۳ تحت تأثیر دبی‌های آبگیری مختلف، به صورت یکجا در شکل‌های (۴) و (۵) آورده شده است. در این شبیه‌سازی، مدت زمان شبیه‌سازی تا ماندگار شدن جریان ادامه داشت. با توجه به شکل (۴-الف) ملاحظه می‌شود که روند حاصل از هر دو روش داده‌های آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی یکسان بوده، به طوریکه مقادیر ضریب آبگذری تا مقدار  $H/P=0/4$  افزایش (به دلیل تأثیر کشش سطحی بیشتر در هدهای کم) و سپس تا  $H/P=0/6$  کاهش یافته و در ادامه مقدار ثابت را به خود می‌گیرد. که

<sup>1</sup>Specified pressure

<sup>2</sup>Out flow

<sup>3</sup>Wall

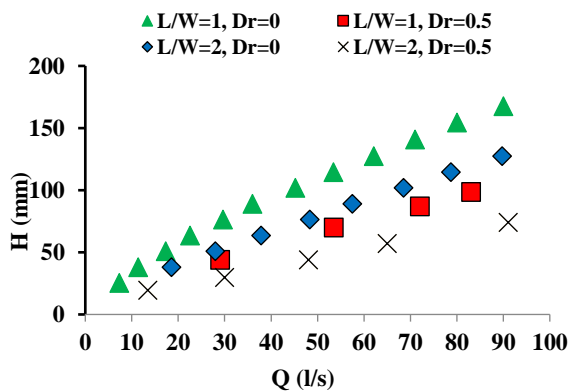
<sup>4</sup>Symmetry

<sup>5</sup>RANS

شبه‌سازی و محدود بودن دامنه آزمایش‌ها جهت بسط نتایج و تعیین پارامترهای هیدرولیکی و هیدرودینامیکی مربوطه، از مقادیر حاصل از شبه‌سازی عددی استفاده گردید.

### ۲-۳- تغییرات رقوم سطح جریان تحت تأثیر تغییرات دبی

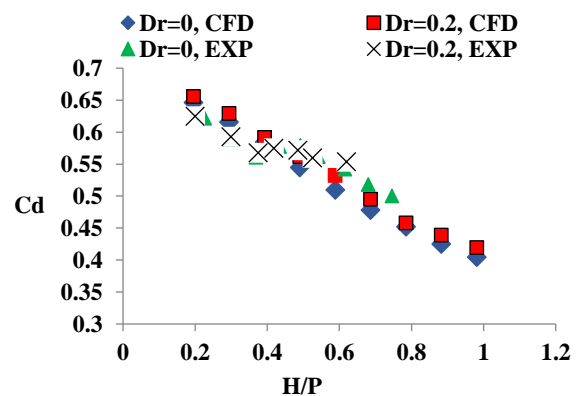
در عمل علاوه بر اینکه دبی‌های آبیگری تغییر می‌کنند، تغییر دبی رودخانه در طول دوره آبی و یا فصل زراعی نیز امری بدیهی است. بدین جهت یکی از مواردی که در آبیگری از بندهای انحرافی بایستی مورد توجه قرار گیرد، نوسانات رقوم سطح آب تحت تأثیر آبیگری و دبی رودخانه می‌باشد. در بندهای انحرافی، نوسانات کمتر سطح آب طی دوره آبیگری یک مزیت به شمار می‌آید. از طرفی در عمل بهره‌برداران علاقه‌مند هستند تا بدون نیاز به اپراتور جهت تنظیم دریچه آبیگری، بتوانند آب مورد نیاز خود را از رودخانه برداشت کنند. در این راستا پیشنهاد جایگزینی سرریز نوک اردکی به جای سرریز خطی قابل‌ارائه و بررسی می‌باشد. بدین جهت تغییرات رقوم سطح آب در کانال اصلی در یک دبی خاص و طی آبیگری‌های متفاوت و همچنین تغییرات رقوم سطح جریان در فلوم اصلی تحت تأثیر تغییرات دبی و دبی نسبی آبیگری ثابت در دو حالت سرریز با بزرگ‌نمایی ۱ و ۲ مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۶ - تغییرات رقوم سطح آب بر اساس تغییرات دبی  
Fig. 7 changes in water level based on discharge changes

با توجه به شکل (۶) ملاحظه می‌شود که افزایش بزرگ‌نمایی سرریز از ۱ به ۲ در دبی‌های مختلف باعث کاهش سطح آب می‌شود. که با افزایش دبی این کاهش بزرگ‌تر خواهد بود. همچنین هنگامی که دبی نسبی آبیگری از صفر به ۰.۵۰٪ افزایش یابد، رقوم سطح آب کاهش خواهد یافت که با افزایش بزرگ‌نمایی این کاهش چشمگیرتر خواهد بود.

گیری می‌شود که به هنگام استفاده از سرریز خطی مقدار ضریب آبیگری در مقادیر هد نسبی جریان بزرگ‌تر از ۰/۶ ثابت شده اما در هنگام استفاده از سرریز نوک‌اردکی با بزرگ‌نمایی ۲ مقدار ضریب آبیگری در مقادیر مختلف هد نسبی جریان تغییر نموده و در مقادیر هد نسبی جریان بیشتر از ۰/۴، روند نزولی دارد. همچنین از مقایسه دو شکل (۴-الف) و (۴-ب) می‌توان چنین استنباط کرد که با افزایش بزرگ‌نمایی سرریز مورد استفاده در بندهای انحرافی مقدار ضریب آبیگری کاهش می‌یابد. با توجه به مطالعات انجام شده، این امر در سرریزها به صورت منفرد نیز صادق است. در این حالت نیز میزان آبیگری تأثیر محسوس روی ضریب دبی جریان ندارد.



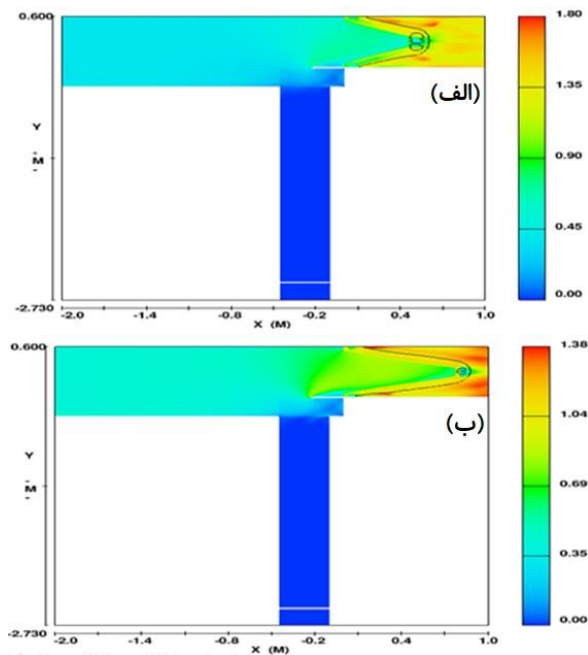
شکل ۵- ضریب آبیگری جریان عبوری از روی سرریز با بزرگ‌نمایی ۳ در مقادیر مختلف هد نسبی جریان

Fig.5 The discharge coefficient of the weir with magnification 3 in different values of the head to height ratio of the flow under the effect of the intake discharge ratio

شکل (۵) ضریب آبیگری جریان عبوری از روی سرریز با بزرگ‌نمایی ۳ در مقادیر مختلف هد نسبی جریان تحت تأثیر بازشدگی دریچه آبیگری بند انحرافی را نشان می‌دهد. حداکثر اختلاف بین مقادیر آزمایشگاهی و شبه‌سازی عددی در شکل (۵)، ۹٪ می‌باشد. شکل (۵) نیز موارد مذکور در اشکال (۴) را تأیید می‌کند. از مقایسه شکل‌های (۴) و (۵) می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش بزرگ‌نمایی سرریز نه تنها مقدار ضریب آبیگری کاهش می‌یابد بلکه با افزایش هد نسبی جریان اختلاف ضریب آبیگری حاصل از سرریزهای با بزرگ‌نمایی‌های مختلف افزایش می‌یابد. این امر به دلیل تداخل بیشتر جریان و انحنا خطوط جریان در بالادست می‌باشد. از دیگر نتایج می‌توان به عدم تأثیر محسوس آبیگری نسبی روی ضریب دبی جریان در مقادیر مختلف هد نسبی جریان اشاره کرد. با توجه به میزان خطای نسبی پایین حاصل از

گفت با افزایش بزرگ‌نمایی استهلاک انرژی در پایین‌دست سرریز بیش‌تر بوده و قدرت پرش هیدرولیکی ضعیف‌تر است که این امر نیز در زمره مزیت‌های سرریزهای نوک‌گردکی و کنگره‌ای قرار خواهد گرفت. بنابراین ابعاد حوضچه آرامش دچار تغییر خواهند شد که بایستی لحاظ گردد. همچنین به علت تداخل بیشتر از نظر اکسیژن دهی آب بهتر عمل نموده و از نظر محیط‌زیستی این مطلب حائز اهمیت می‌باشد.

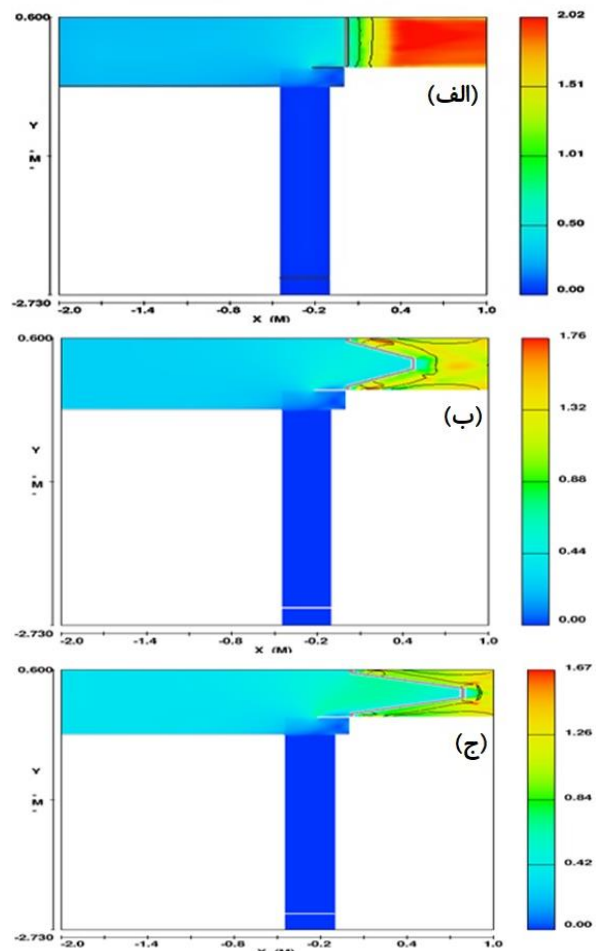
شکل (۸-الف) و (۸-ب) سرعت متوسط عمقی را برای آبیگری صفر و دبی با بزرگ‌نمایی ۲ و ۳ نشان می‌دهند. با توجه به شکل و مقایسه آن‌ها با شکل (۷) ملاحظه می‌شود که با افزایش دبی رودخانه از ۶۰ به ۸۰ l/s ناحیه مربوط به ماکزیمم سرعت متوسط عمقی در بالادست مساحت بیش‌تری را به خود گرفته و گسترش بیش‌تری به سمت بالادست پیدا می‌کند.



شکل ۸- سرعت متوسط عمقی (m/s) برای آبیگری صفر، دبی ورودی ۸۰ l/s و سرریز با بزرگ‌نمایی: الف- ۲ و ب- ۳

Fig. 8 Depth average velocity (m/s) for zero intake discharge ratio, main channel flow rate of 80 l/s and weir with magnification of: a) 2 and b) 3

شکل (۹) سرعت متوسط عمقی را برای آبیگری ۰.۴۰ و دبی ۶۰ l/s نشان می‌دهند. اشکال (۹-الف) و (۹-ب) به ترتیب برای بزرگ‌نمایی سرریز برابر ۲ و ۳ می‌باشند. از مقایسه اشکال (۷) تا (۹) که به ترتیب برای آبیگری‌های ۰ و ۰.۴۰ می‌باشند، ملاحظه می‌شود که با انجام آبیگری از یک دبی خاص رودخانه، دامنه سرعت متوسط عمقی در بالادست سرریز محدودتر می‌شود. اما در کانال آبیگری سرعت متوسط



شکل ۷- سرعت متوسط عمقی (m) برای آبیگری صفر، دبی ورودی ۶۰ l/s و سرریز با بزرگ‌نمایی: الف- ۱، ب- ۲، و ج- ۳  
Fig. 7 Medium depth velocity (m) for zero intake, inlet flow 60 l/s and overflow with magnification of: a) 1, b) 2, and c) 3

### ۳-۳ - سرعت متوسط عمقی جریان

از مقایسه سه شکل (۷-الف)، (۷-ب) و (۷-ج) ملاحظه می‌شود که در دبی رودخانه برابر و آبیگری صفر، با افزایش بزرگ‌نمایی سرعت متوسط عمقی در بالادست سرریز افزایش و در پایین‌دست سرریز کاهش می‌یابد، لذا با توجه به رابطه پیوستگی، با افزایش بزرگ‌نمایی، عمق جریان در بالادست و پایین‌دست سرریز به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. همچنین می‌توان گفت در سرریز با بزرگ‌نمایی ۱ بیشترین سرعت متوسط عمقی در بالادست سرریز متمایل به جهتی است که دیواره جداکننده وجود دارد که با افزایش بزرگ‌نمایی به تدریج از دیواره سرریزی که در سمت دیواره جداکننده قرار دارد فاصله گرفته و به دیواره مقابل آن نزدیک می‌گردد. با توجه به اینکه سرعت متوسط عمقی با افزایش بزرگ‌نمایی در پایین‌دست سرریز کاهش یافته در نتیجه عدد فرود جریان (جریان فوق بحرانی) کاهش می‌یابد. می‌توان

تنها مطالعه مشابه در این خصوص (حضور همزمان سرریز و کانال آبگیر) (Esmaeili Varaki et al. (2011) می باشد که عمده مطالعه مذکور بر روی جریان رسوب می باشد. بررسی ایشان روی منحنی های خطوط هم سرعت عرضی در مقابل دهانه آبگیر نشان می دهد که تمرکز سرعت های ورودی به دهانه آبگیر در بخش یک سوم انتهایی عرض دهانه آبگیر (از بالادست) واقع شده است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد (شکل ۹). با توجه به اینکه سرریز در نظر گرفته شده در مطالعه (Esmaeili Varaki et al. (2011) خطی بوده است، لذا می توان نتیجه گرفت که فارغ از هر بزرگنمایی سرریز، در هنگام آبگیری تمرکز سرعت عمقی ورودی به دهانه آبگیر در قسمت انتهایی عرض دهانه آبگیر واقع شده است.

#### ۴- نتیجه گیری

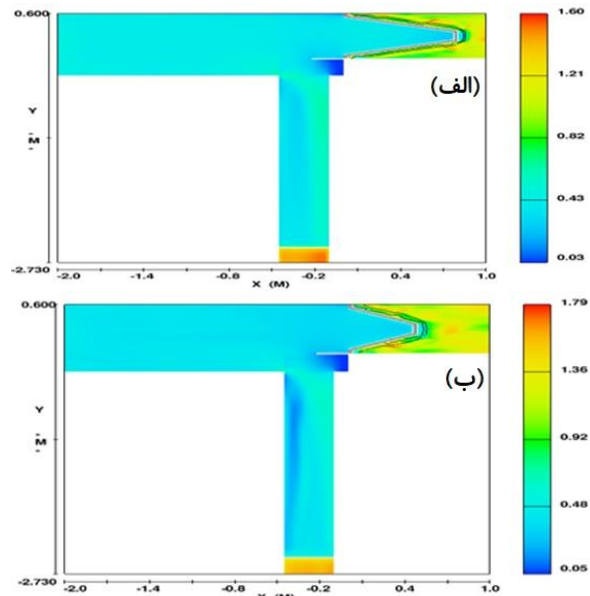
در این پژوهش با تغییر در شکل سرریز از خطی به نوک اردکی با بزرگنمایی ۲ و ۳، تأثیر این تغییرات بر روی خصوصیات هیدرولیکی و هیدرودینامیکی جریان به وسیله شبیه سازی عددی با استفاده از نرم افزار FLOW3D مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مدل عددی با مدل آزمایشگاهی مقایسه شد. نتایج نشان داد:

۱- تطابق خوبی بین مقادیر آزمایشگاهی و شبیه سازی عددی برقرار است. ضریب آبگذری در سرریز خطی با بزرگنمایی ۱ ابتدا یک روند افزایشی سپس روند کاهشی دارد و از ارتفاع نسبی بزرگتر از ۰/۶ ضریب آبگذری ثابت شد. در سرریز با بزرگنمایی ۲ تا ارتفاع نسبی ۰/۴ روند افزایشی و از ارتفاع نسبی بزرگتر از ۰/۴ روند کاهشی می باشد. در سرریز با بزرگنمایی ۳ با افزایش هد نسبی ضریب آبگذری همواره کاهش می یابد.

۲- آبگیری تأثیری بر ضریب آبگذری ندارد و افزایش بزرگنمایی ضمن کاهش ضریب آبگذری، باعث افزایش ناحیه مستعد رسوب گذاری می شود. با انجام آبگیری، ضمن افزایش سرعت طولی در مقابل دهانه آبگیر، سرعت طولی ماکزیمم در داخل رودخانه به سمت دهانه آبگیر حرکت می کند.

۳- با افزایش بزرگنمایی سرعت متوسط عمقی در بالادست سرریز افزایش و در پایین دست سرریز کاهش می یابد. همچنین با افزایش بزرگنمایی استهلاک انرژی در پایین دست سرریز بیش تر بوده و قدرت پخش هیدرولیکی ضعیف تر است. پس می توان حوضچه آرامشی با مشخصات هندسی

عمقی افزایش یافته که این افزایش در ساحل خارجی (محور پایین دست دهانه آبگیر) شدت بیش تری دارد. همچنین از مقایسه شکل های فوق ملاحظه می شود که با انجام آبگیری برابر از یک دبی خاص رودخانه و با افزایش بزرگنمایی، ابعاد ناحیه جدایی جریان شامل طول و عرض آن در کانال آبگیر افزایش می یابد. این بدان معناست که با افزایش بزرگنمایی ناحیه مستعد رسوب گذاری افزایش می یابد.



شکل ۹- سرعت متوسط عمقی (متربرنایه) برای آبگیری ۴۰٪،

دبی ورودی ۶۰ l/s و سرریز با بزرگنمایی: الف- ۲ و ب- ۳

Fig. 9 Depth average velocity (m/s) for 40% intake discharge ratio, main channel flow rate of 60 l/s and weir with magnification of: a) 2 and b) 3

همچنین با افزایش بزرگنمایی، مقدار حداقل سرعت متوسط عمقی جریان در ناحیه جدایی جریان افزایش می یابد. با انجام آبگیری برابر از یک دبی خاص رودخانه، افزایش بزرگنمایی، ابعاد ناحیه جدایی جریان شامل طول و عرض آن را در کانال آبگیر افزایش می یابد. این بدان معناست که با افزایش بزرگنمایی ناحیه مستعد رسوب گذاری افزایش می یابد. همچنین با افزایش بزرگنمایی، مقدار حداقل سرعت متوسط عمقی جریان در ناحیه جدایی جریان افزایش می یابد. با آبگیری، ضمن افزایش سرعت طولی در مقابل دهانه آبگیر، سرعت طولی ماکزیمم در داخل رودخانه به سمت دهانه آبگیر حرکت می کند. با افزایش آبگیری، مقادیر ماکزیمم سرعت های طولی به سمت بالادست (سرعت های منفی) نیز در جلوی دریچه آبگیر و مجرای تخلیه رسوب افزایش یافته است.

### نحوه دسترسی به داده‌ها

داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل قابل ارسال است.

### تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

کوتاه‌تر و هزینه‌های کم‌تر در نظر گرفت. به‌علت تداخل بیشتر، عمل اکسیژن‌دهی آب بهتر انجام می‌گردد که از نظر محیط‌زیستی حائز اهمیت است.

۴- با انجام آبیگری یکسان از یک دبی خاص رودخانه و افزایش بزرگ‌نمایی، ابعاد ناحیه جدایی جریان شامل طول و عرض آن در کانال آبیگر افزایش می‌یابد.

## References

- Ajdari Moghadam, M. and Jafari Nadoshan, E. (2013). Hydraulic design of labyrinth weir by using computational fluid dynamics (CFD). *Modares Civil Eng. J.*, 13(2), 12-28. [in Persian].
- Carollo, F. G., Ferro, V. and Pampalone, V. (2017). Testing the outflow process over a triangular Labyrinth weir. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 143(8), 2-6.
- Crookstone, B. M. and Tullis, B. P. (2012). Labyrinth weirs: nappe interference and local submergence. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 138, 757-765.
- Davoud Maghami, D. (2017). Survey of flow hydraulic characteristics over the proposed structure called a duckbill check drop for optimum controlling over upstream intakes. PhD Thesis, BU-Ali Sina University, Hamadan. 191p [in Persian].
- Esmaeili Varaki, M., Farhoudi, J. and Omid, M. H. (2011). Flow patterns at right-angled lateral intakes. *Iran. J. Agri. Eng. Res.*, 10(1), 49-68 [in Persian].
- Flow Science Incorporated. (2015). *Flow-3D user's manuals*, version 11.1, Santa Fe, NM.
- Ghasemzadeh, F. (2013). *Simulation hydraulic issues in Flow-3D*. Noavar Publications. 144p [in Persian].
- Ghodsian, M. (2007). Stage-Discharge relationship for a triangular labyrinth spillway. *Proc. Inst. Eng. Water Manage.*, 162(3), 173-178. [In Persian].
- Gupta, K. K., Kumar, S. and Ahmad, Z. (2015). Effect of weir height on flow performance of sharp crested rectangular-planform weir. *World Appl. Sci. J.*, 33(1), 168-175.
- Hirt, C. W. and Nichols, B. D. (1981). Volume of fluid (VOF) methods for the dynamics of free boundaries. *J. Comput. Phys.*, 39, 201-225.
- Houston, K. (1983). Hydraulic model study of Hyrum Dam auxiliary spillway. Report No. GR-82-13. U.S. Bureau of Reclamation. Denver, Colo.
- Kumar, S., Ahmad, Z. and Mansoor T and Himanshu S. K. (2012). Discharge characteristics of sharp crested weir of curved plan-form. *Res. J. Eng. Sci.*, 1(4), 16-20.
- Majedi Asl, M. and Fuladipanah, M. (2019). Application of the evolutionary methods in determining the discharge coefficient of triangular labyrinth weirs. *J. Water Soil Sci.*, 22(4), 279-290 [In Persian].
- Mansouri, R., Esmaeili Varaki, M. and Navabian, M. (2019). Experimental study of the effect of trapezoidal labyrinth weir geometry on increasing dissolved oxygen. *Iran. Soil Water Res.*, 49(5), 977-990 [In Persian].
- Mirnasari, M. and Emadi, A. R. (2013). Hydraulic performance of combined flow rectangular labyrinth weir-gate. *Middle-East J. Sci. Res.*, 18(9), 1335-1342 [In Persian].
- Montasari, H. and Asiaei, H. (2016). Numerical investigations on effect of intake location and diversion angle on flow pattern in a channel bend by SSIIM2 software. *Modares Civil Eng. J.*, 16(3), 215-226 [In Persian].
- Rezaie, M., Emadi, A. and Aqajani Mazandarani, Q. (2016). Experimental study of rectangular labyrinth weir. *Iran. J. Water Soil*, 29(6), 1438-1446 [In Persian].

- Razvan, R. (1989). River intake and diversion dams. Elsevier Science Pub. Inc. New York. USA.
- Roushangar, K., Majedi Asl, M. and Alami, M. T., Shiri J. (2017). Evaluation of the effect of changes in arc cycle angle on the discharge coefficient of arced labyrinth and arced piano weirs. Iran. Soil Water Res., 29(2), 341-351 [In Persian].
- Taylor, G. (1968). The performance of labyrinth weirs. PhD Thesis, University of Nottingham, Nottingham, England.
- Tajari, M., Dehghani, A. A. and Meftahhalaghi, M. (2019). Simulation of sedimentation pattern in upstream of duckbill weirs using submerged vanes. J. Ferdowsi Civil Eng., 32(3), 83-98. DOI:10.22067/civil 32i3.69105 [In Persian].
- Zahiri, M. (2015). Developing formulae for discharge coefficient in curved weirs using Genetic Programming. Iran. J. Irrig. Drain., 9(2), 323-334 [In Persian].
- Zamiri, E., Karami, H. and Farzin. S. (2018). Numerical study of effective parameters in hydraulic performance of flow over labyrinth weir. Iran. J. Irrig. Drain., 11(5), 865-875 [In Persian].

---

**How to cite this paper:**

Davoud Maghami, D., Moradinejad, A. and Paimozd, S. (2022). Numerical simulation of the effect of weir magnification on hydraulic and hydrodynamic characteristics in diversion dams. Environ. Water Eng., 8(2), 365-378. DOI: 10.22034/JEWE.2021.280365.1546

---